

## EFEITO DO TRATAMENTO SUB-ZERO EM MORDENTES CEMENTADOS\*

Jader Pitangueira Badaró<sup>1</sup>  
Rebeca Conceição da Silva Reis<sup>1</sup>  
Marcos Menino Macedo<sup>2</sup>  
Abraão Santos Silva<sup>3</sup>  
Sandro Griza<sup>4</sup>

### Resumo

Mordentes são componentes que operam em severas condições de contato sob carga. Muitas vezes os mordentes são cementados a fim de melhorar o desempenho ao desgaste. Contudo, a cementação pode provocar a retenção de austenita, o que, dependendo da sua concentração, pode ser prejudicial nas condições de desgaste. Nesse estudo foram analisados mordentes usados na área de mineração, os quais sofreram severo desgaste em uso, diminuindo drasticamente a sua vida útil. O objetivo desse estudo é identificar o material e processos de fabricação do mordente além de propor alternativas para aumentar a vida útil. Foi feita a caracterização do material através de análise química, metalografias e ensaio de microdureza. Os resultados indicaram alta concentração de austenita retida, a qual foi a principal causa da perda de resistência ao desgaste do material. Com os resultados foi possível refazer o mordente com a aplicação do tratamento térmico sub zero, que garantiu aumento da vida útil em mais de dez vezes.

**Palavras-chave:** Austenita retida; Mordente; Cementação.

### EFFECT OF SUB-ZERO TREATMENT ON CARBURIZED GRIP DIES

#### Abstract

Grip dies are components operating in rigorous load bearing conditions. Often the grips are carburized in order to improve wear performance. However the carburization can cause retained austenite which, depending on their concentration can be detrimental in terms of wear. In this study were analyzed grips used in mining, which suffered severe wear in use, and it drastically reduced its useful life. The aim of this study is to identify the material and the manufacturing processes of the grips. The material characterization was performed through chemical analysis, metallography and hardness test. The results indicated a high amount of retained austenite, which was the main cause of the wear of the material. From the results of this study, it was possible to remake the grip applying sub-zero heat treatment, which increased the grip life in over a ten-fold.

**Keywords:** Retained austenite; Grip die; Carburization.

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Materiais, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DECEN), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Aracaju, SE, Brasil.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Mecânica (DMEC), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Aracaju, SE, Brasil.

<sup>3</sup> Eng. de Materiais, graduado pela Universidade Federal de Sergipe (UFS), Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DECEN), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Aracaju, SE, Brasil.

<sup>4</sup> Doutor em Eng. de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e professor adjunto da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DECEN), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Aracaju, SE, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Mordentes são componentes que servem para fixar e transportar outros componentes, assim como tubulações para transporte de fluidos. Eles operam em severas condições de contato sob pressão. Muitas vezes os mordentes são cementados a fim de melhorar o desempenho ao desgaste.

A cementação é um tratamento termoquímico no qual é introduzido carbono na superfície do aço a temperaturas acima de 900°C [1,2]. Segundo Grosch [3], o processo de cementação é constituído basicamente de duas etapas, sendo a primeira a difusão de carbono na superfície e a segunda a têmpera da peça. Da primeira etapa resulta um gradiente de concentração de carbono na camada cementada, de cerca de 1,0% na superfície até o teor de carbono original do aço, em torno de 0,2%. Então segue-se com a têmpera, que tem como resultados um gradiente de dureza e um perfil de tensões residuais compressivas na camada cementada.

Como a temperatura final de transformação martensítica (Mf) de aços com alto teor de carbono e outros elementos de liga é inferior a temperatura ambiente, não ocorre uma transformação completa da austenita em martensita durante a têmpera, havendo uma quantidade de austenita retida. A austenita retida na camada cementada é uma fase dúctil, de aparência branca quando vista em microscópio ótico [4,5].

Apesar de diversos estudos mostrarem que a austenita retida em níveis da ordem de 10-15% ser benéfica quanto a resistência à fadiga de componentes que operam sob carga tais como rolamentos e dentes de engrenagens [6], a transformação da austenita retida pode diminuir a resistência ao desgaste sob condições severas de uso. Estudo mostra que sob alta carga aplicada, o teor de até 30% de austenita retida reduz a resistência ao desgaste [7].

A presença de austenita retida na microestrutura da camada cementada pode ser prejudicial a aços cementados tendo em vista a característica metaestável dessa fase. Um alto teor de carbono impede a transformação de toda austenita em martensita durante a têmpera, gerando assim uma porcentagem de austenita retida. Porém as tensões geradas durante o uso podem converter a austenita retida em martensita não revenida altamente tetragonal, o que induz fissuras resultantes da expansão do aço, uma vez que a matriz não é suficientemente dúctil para tolerar tal expansão [8]. Fissuras na camada cementada podem facilitar a retirada de lascas durante o uso do componente, ou seja, favorecem o desgaste.

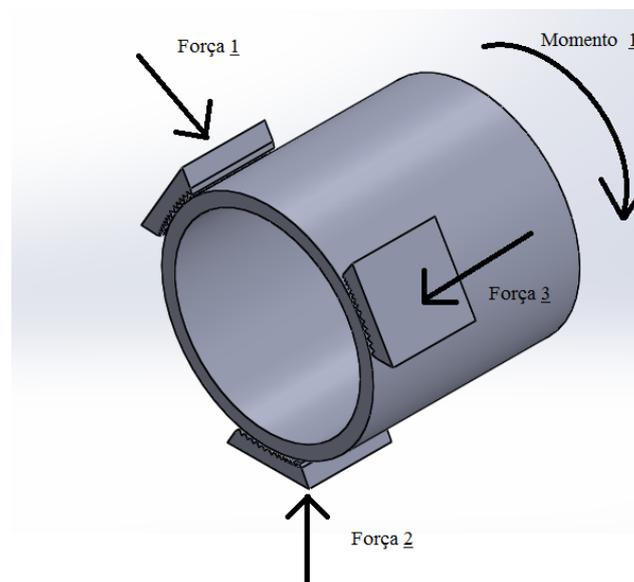
Fatores microestruturais tais como tamanho de grão e teores dos elementos de liga estão associados à formação da austenita retida. Diversas alternativas de tratamentos térmicos para a redução da quantidade de austenita retida ou sua estabilização na camada cementada tem sido propostas ao longo do tempo [9]. O tratamento sub-zero é um método consolidado e usual para a redução da austenita retida em camadas cementadas, simplesmente porque ele permite reduzir a temperatura das peças após a tempera e isso provoca a transformação da austenita. Estudo recente mostra ainda que o tratamento sub-zero pode ser benéfico por promover tensões residuais compressivas [10]. Entretanto, o tratamento sub-zero torna-se uma etapa a mais de tratamento térmico e utiliza o meio de tempera não usual como nitrogênio líquido, o que encarece o processo e por isso deve ser utilizado com cautela em situações críticas e de baixa quantidade de peças.

O presente estudo foi dirigido a um problema de desgaste encontrado em mordentes de movimentação de salmorodutos no projeto Carnalita, Sergipe. O estudo busca

fazer a caracterização do material que apresentou problemas e propor alternativas para diminuir o problema.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os mordentes em análise foram utilizados no manuseio de tubos de extração de carnalita a partir da caverna de sal, chamados de salmorodutos. Os mordentes são placas ranhuradas que são pressionadas sobre a superfície externa dos dutos, a fim de permitir a sua movimentação. A pressão de acionamento imposta aos mordentes provocam elevadas forças de contato, que permitem resistir a esforços de cisalhamento na região de agarramento. A figura 1 apresenta um esquema ilustrativo do funcionamento dos mordentes sobre um duto. A pressão de acionamento imposta aos mordentes provocam elevadas forças de contato, que permitem resistir a esforços de cisalhamento na região de agarramento.



**Figura 1:** Imagem ilustrativa de mordentes em uso. As forças 1, 2 e 3 são compressivas, a fim de fazer com que os mordentes prendam-se à tubulação para o manuseio, podendo esta ser movimentada verticalmente ou ser rotacionada, como indica o Movimento 1.

Os mordentes foram fabricados em aço AISI 8620, e cementados a fim de se obter um aço com núcleo tenaz e superfície de elevadas resistência mecânica, resistência à fadiga e resistência ao desgaste.

Oito mordentes foram retirados de uso devido a desgaste excessivo. A figura 2 apresenta o aspecto de um dos mordentes. Uma seção de um mordente danificado foi cortada em disco abrasivo para análise química. Foram feitas 3 queimas em espectrômetro de emissão ótica (Oxford Instruments, modelo Foundry Master Xpert) e os resultados foram apresentados como a média da composição química dessas 3 queimas. Outra seção do mordente foi cortada e submetida à preparação metalográfica. O plano de corte foi transversal à seção do mordente, permitindo verificar em verdadeira grandeza a camada cementada. A seção metalográfica foi polida e posteriormente atacada através de reagente Nital 2% e observada em um microscópio óptico (Leica, Modelo DM 2500M). Após a obtenção das imagens das microestruturas, a peça foi encaminhada para ensaios de microdureza. Foi realizado um perfil de microdureza Vickers (HV 0,3), partindo da superfície em direção ao

núcleo, com distância entre impressões de microdureza de 0,1 mm, utilizando um microdurômetro (Shimadzu HVM).

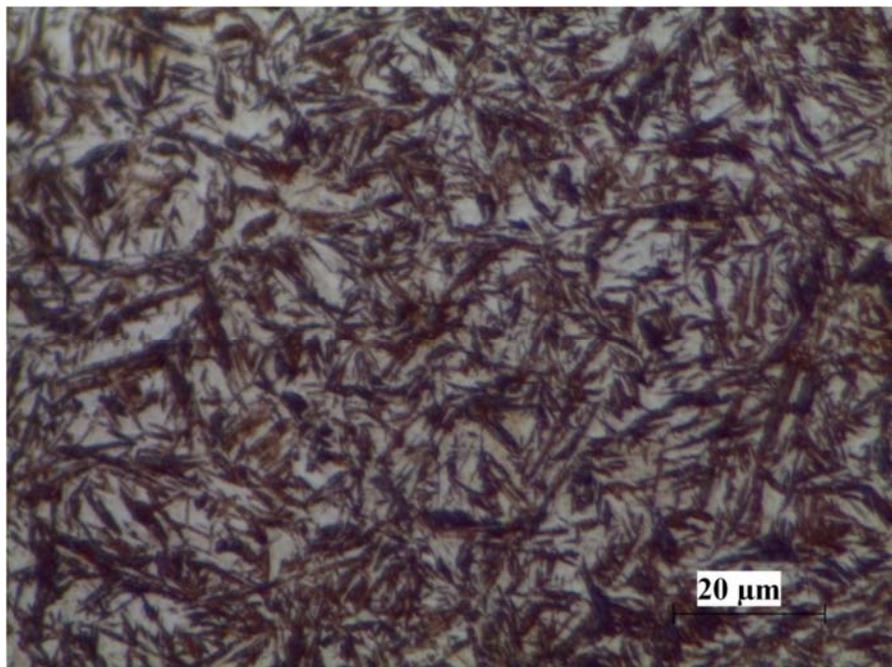


**Figura 2:** Mordente em estudo. Consiste em uma chapa com base plana que encaixa no sistema de pressão, além de uma superfície oposta composta de dentes que servem para agarrar o duto.

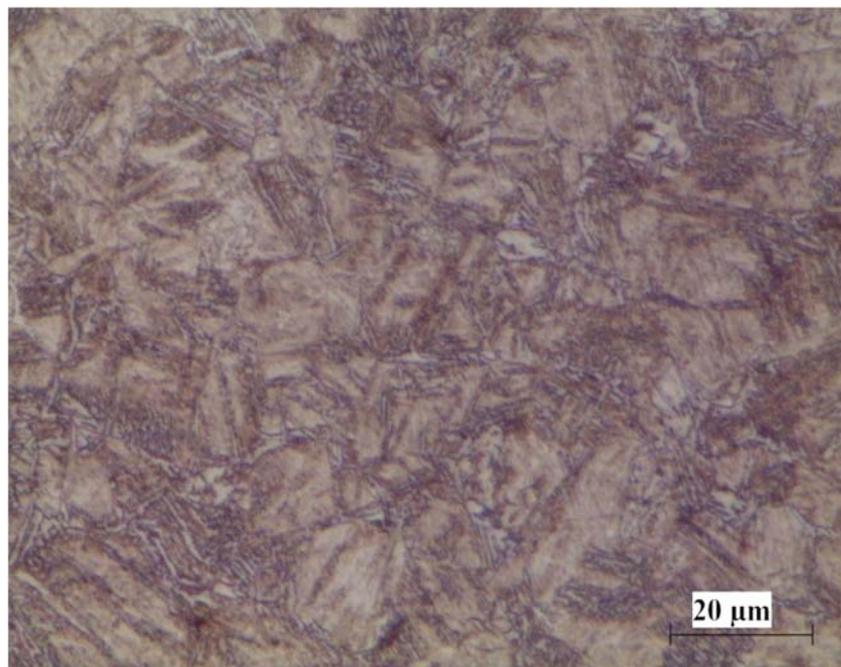
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O material é um aço de baixo teor de carbono e baixa liga em cromo, de acordo com a composição química mostrada na Tabela 1. O material foi tratado termicamente através de cementação, seguida de têmpera e revenimento, resultando em uma microestrutura superficial constituída de austenita retida e agulhas de martensita (Figura 3). O núcleo, por sua vez, apresenta microestrutura constituída de ferrita pró-eutetóide e placas de martensita de baixo carbono (Figura 4).

O perfil de microdurezas (Figura 5) indicou uma camada de cementação de 1,5 mm, tomando como base a dureza de núcleo de 500 HV. A dureza superficial média foi de 650 HV.



**Figura 3:** Austenita retida (fase branca) e agulhas de martensita, observadas na camada.

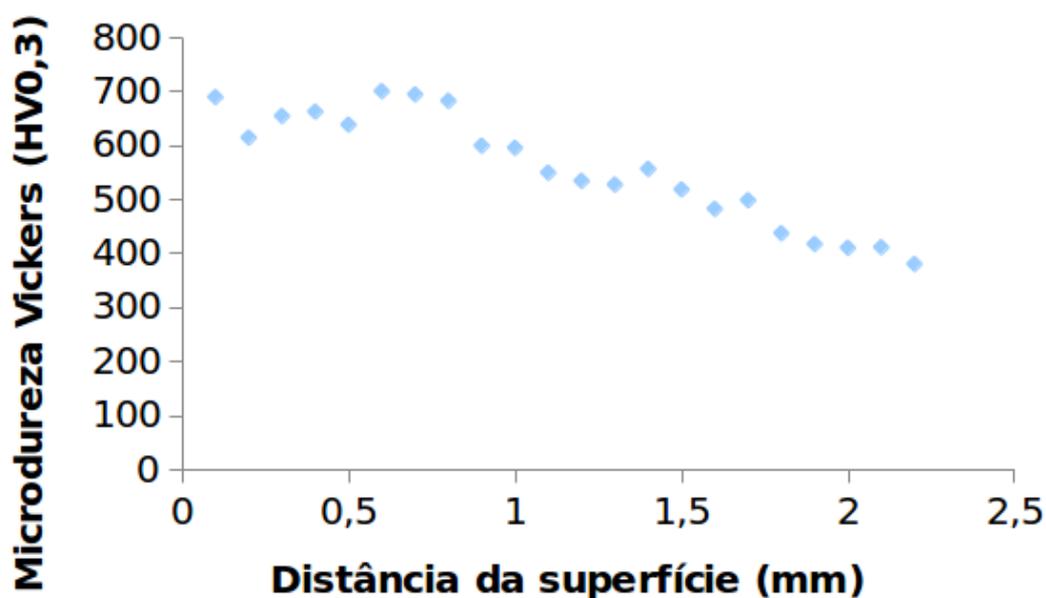


**Figura 4:** Microestrutura de martensita de baixo carbono e ferrita encontrada no núcleo.

**Tabela 1 – Análise química (% em peso)**

Elemento	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
% peso	0,20	0,24	0,92	0,019	0,023	0,51	0,15	0,45	0,16

De acordo com os resultados, podemos observar que os mordentes foram fabricados a partir de um aço de baixo carbono (0,2% C) e baixa liga em cromo (0,5% Cr). Após a usinagem, o mordente recebeu tratamento térmico de cementação para profundidade de camada de 1,5 mm, seguido de têmpera e revenimento para dureza superficial média de 650 HV.



**Figura 5:** Perfil de microdureza partindo do início da camada cementada e seguindo.

O excesso de austenita retida na camada cementada foi considerado como fator preponderante para o desgaste dos mordentes.

A logística associada à reposição dos mordentes é um fator de grande importância devido ao lucro cessante relativo à parada de operação do salmoroduto. Tomando por base a realidade atual da indústria metal-mecânica incipiente do estado de Sergipe, onde opera o salmoroduto, inicialmente a decisão que foi tomada foi de fabricar os mordentes de reposição em outro estado. Isto acarretaria em maior custo devido ao transporte das peças.

Portanto, nós sugerimos que os mordentes fossem fabricados na região, através de usinagem e subsequentes tratamentos de cementação e sub-zero para reduzir a quantidade de austenita retida. O acréscimo do custo de tratamento sub-zero é compensado pela redução do custo de logística.

Então uma empresa local foi selecionada para a usinagem dos oito mordentes de reposição. Os mordentes foram medidos através de paquímetro e o raio de curvatura da região dentada foi obtida por máquina de medição por coordenadas tridimensional (Mitutoyo Crysta Plus - M574). A usinagem foi feita através de chapas de aço AISI 8620 utilizando-se fresadora e ferramenta apropriada para a usinagem dos dentes.

Após a usinagem, outra empresa local foi selecionada para realizar os tratamentos térmicos e termoquímicos. Os mordentes foram submetidos ao processo convencional de cementação, a 915°C para reproduzir a camada de 1,5 mm e dureza superficial média de 650 HV. Logo após a cementação, as peças foram submetidas à tempera em óleo, a 850°C, para produzir a camada endurecida. Imediatamente após a tempera, as peças foram imersas em banho de nitrogênio líquido e mantidas por um período de 1 hora, chegando a temperaturas de até -196°C, para promover uma melhor transformação da austenita retida. Depois disso então as peças foram revenidas a 180°C.

As peças foram então postas em serviço. Passados 10 meses, não há ocorrência de desgaste dos mordentes, o que reflete acréscimo da resistência ao desgaste em dez vezes obtido pela alternativa de tratamento térmico adotada.

#### 4 CONCLUSÃO

O desgaste excessivo dos mordentes ocorreu por causa da austenita retida em excesso após cementação e têmpera. O procedimento sugerido de fabricação das peças de reposição, composto de tratamento térmico sub-zero após a têmpera mostrou-se eficiente para aumentar a vida útil dos mordentes em mais de dez vezes.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem às agências de fomento CAPES, CNPq, FINEP e FAPITEC.

#### REFERÊNCIAS

- 1 G. Krauss, "Martensitic Transformation, Structure and Properties in Hardenable Steels," in Hardenability Concepts with Applications to Steel, D.V. Doane and J.S. Kirkaldy, eds., AIME, Warrendale, PA, 1978, pp. 229-248.
- 2 Krauss, G. Steels: processing, structure, and performance, ASM International, 2005
- 3 GROSCH, J. (1993) Fundamentals of carburizing and toughness of carburized components. In: QUENCHING AND CARBURISING, Melbourne, 1991. Proceedings. London, The Institute of Materials. P.227-249.

- 4 G.F. Vander Voort, Metallography: Principles and Practice, McGraw-Hill Book Co., NY, 1984; ASM International, Materials Park, OH, 1999.
- 5 COLPAERT, Hubertus. Metalografias dos produtos siderúrgicos comuns. 4ª edição. São Paulo: Edgard Blucher; 2008.
- 6 Yi Shen, Sina Mobasher Moghadam, Farshid Sadeghi, Kristin Paulson, Rodney W. Trice, Effect of retained austenite – Compressive residual stresses on rolling contact fatigue life of carburized AISI 8620 steel, Int J Fatigue (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2015.02.017>
- 7 Hyung-Jun Kim, Young-Gak Kweon, The effects of retained austenite on dry sliding wear behavior of carburized steels, Wear 193 (pg. 8-15).
- 8 SILVA, V. F. Influência da Austenita retida no crescimento de trincas curtas superficiais por fadiga em camada cementada de aço SAE 8620. 1997. 121p. Dissertação (Mestrado)- Área Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo.
- 9 Z.J. Xie, S.F. Yuan, W.H. Zhou, J.R. Yang, H. Guo, C.J. Shang, Stabilization of retained austenite by the two-step intercritical heat treatment and its effect on the toughness of a low alloyed steel, Materials and Design 59 (2014) 193–198.
- 10 Matteo Villa, Karen Pantleon, Marcel A.J. Somers, Evolution of compressive strains in retained austenite during sub-zero Celsius martensite formation and tempering, Acta Materialia 65 (2014) 383–392.